

des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt sind."

Nach dieser Definition ist eine praktische Erprobung im Betrieb nicht zwingend notwendig, sondern gilt lediglich als Indiz. Die bloße Möglichkeit der Realisierbarkeit einer Erkenntnis reicht für die Praxis bereits aus.

Die Anwendung von ursprünglich für Belange des Atom- und Umweltschutzrechts entwickelten Begriffe auf die Sicherheit beim Umgang mit gefährlichen Stoffen und bei der Beförderung gefährlicher Güter bereitet nun zunehmend Probleme. Das auf diesem Schutzgebiet herrschende Sicherheitsniveau wird nämlich im allgemeinen weder vom „Stand der Wissenschaft und Technik“ noch vom „Stand der Sicherheitstechnik“, sondern durch die „anerkannten Regeln der Technik“ beschrieben.

Die „anerkannten Regeln der Technik“ werden von Fachleuten aufgrund von Unfällen oder Gefährdungsanalysen unter Berücksichtigung eines kontinuierlichen, bald 100 Jahre andauernden Erfahrungsflusses im Rahmen anerkannter Gremien erarbeitet.

Als Beispiele für Gremien seien die Technischen Ausschüsse beim Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (BMA), Fachausschüsse der gewerblichen Berufsgenossenschaften, des DIN, VDE, VDI usw. genannt. Da auf diese Weise erarbeitete Regeln ständig auf Aktualität geprüft werden, nähern sie sich schon dem oben definierten Stand der Sicherheitstechnik.

Leider macht der Gesetzgeber in seinen sicherheitstechnischen Forderungen unnötigerweise gerne auch da vom anspruchsvollen „Stand von Wissenschaft und Technik“ Gebrauch, wo die Befolgung der „anerkannten Regeln der Technik“ allein schon genügende Sicherheit bietet.

Die in der Praxis von den Sachverständigen der BAM oft verlangte Beweisführung, daß, wenn der nach Verordnung geforderte „Stand von Wissenschaft und Technik“ nicht erfüllt ist, die verbleibenden Risiken bei Anwendung der „anerkannten Regeln der Technik“ dennoch vertretbar gering sind, verursacht viel überflüssige Arbeit. Sie wäre durch verbal weniger überzogene Formulierungen bei der Beschreibung der vom Gesetzgeber gewünschten Sicherheit leicht zu vermei-

den; Entbürokratisierung – eine gern gebrauchte, griffige und zeitgemäße Forderung – hätte hier ein weites Feld der Betätigung.

Zusammenfassend sei vermerkt, daß am Anfang jeder Risikobewertung, jeder Störfallanalyse, jedes Genehmigungsbescheides die Frage nach der Gefährlichkeit der zu handhabenden Stoffe steht. Die Abschätzung der Gefahren wird anhand der sicherheitstechnischen Kenngrößen und der physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften vorgenommen. Dabei sollte man sich stets vor Augen halten, daß die sicherheitstechnischen Kenngrößen die Beurteilung nur solcher Verhaltensweisen erlauben, die bei der Konzeption der Prüfverfahren schon vorgegeben worden sind. Eine kritische Reflexion ihrer Grenzen bei der Anwendung ist daher unerlässlich. Indessen ist dies ein bewältigbares, technisches Problem. Ein noch nicht bewältigtes Problem ist die Art und Weise, in der die Bewertung von Gefahren durch chemische Stoffe in der Öffentlichkeit – vor allem durch die Medien – vorgenommen wird. Dieses Problem ist wohl nur durch verstärktes Bemühen um technische Bildung und Aufklärung lösbar.

# Durch Brand beschädigte Stahlbetonbauteile – Abbruch oder Reparatur

Thermoanalytische Untersuchungen von Beton als Hilfsmittel  
zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen nach einem Brand.

Herbert Blauß

## Einleitung

Stahlbeton ist nicht nur nach DIN 4102 ein unbrennbarer Baustoff, sondern auch im Bewußtsein weiter Bevölkerungskreise schlechthin die Verkörperung des optimal Möglichen, was man in punkto Feuer-sicherheit bei der Erstellung eines Gebäudes tun kann. Um so größer ist dann das Erstaunen oder auch das Entsetzen der Eigentümer beschädigter Gebäude, wenn sie nach einem Brand feststellen müssen, daß auch Stahl- und Spannbetonbauteile durch die thermische Wirkung des Feuers und durch Rauchgase beschädigt, in selteneren Fällen sogar zerstört worden sind. Das Vertrauen in die in der Tat vorhandene optimale Feuerwiderstandsfähigkeit, insbesondere in die Reparaturfähigkeit brandgeschädigter Stahlbetonbauteile ist dann zum Teil erschüttert; und dies nicht nur bei den Geschädigten, sondern auch

häufig bei dem mit dem Wiederaufbau beauftragten Architekten und Statiker. Die Folge davon ist, daß die Betroffenen und die beauftragten Fachleute (Architekt und Statiker) sehr häufig dazu neigen, brandbeschädigte Stahlbetonbauteile abbrechen zu wollen, anstatt die mögliche und in den allermeisten Fällen wirtschaftlichere Reparatur auszuführen. Der Grund hierfür ist letzten Endes der, daß man nicht in den Beton „hineinsehen“ kann und daher auch nicht weiß, ob noch thermisch bedingte, unerkannte Beschädigungen vorliegen. Leider gibt es auch nur wenig Fachleute, die ausreichend Erfahrung in der Reparatur brandbeschädigter Tragkonstruktionen haben.

## Thermische Schäden an Betonbauteilen

1979 wurde von E. Klement [1] beschrieben, welchen Einfluß die bei Bränden freierwerdenden Temperaturen auf die Tragfähigkeit einer Stahlbeton- bzw. Spannbetonkonstruktion haben. Besonders deutlich wird dabei die Auswirkung des Festigkeitsverlustes, den kalt vergütete Beton- und Spannbetonstähle nach einer ther-

mischen Beanspruchung erleiden können. Für die Beurteilung der Wiederverwendbarkeit von Stahlbetonbauteilen ist es daher von ausschlaggebender Bedeutung, nach einem Brand feststellen zu können, welcher Temperaturbelastung die im Bauwerk vorhandenen Betonstähle bzw. Spannstähle während des Brandes ausgesetzt waren.

## Nachträgliche Bestimmung der Temperatur in einem Bauteil, das einem Schadenfeuer ausgesetzt war

### a. Theoretische Verfahren

Verschiedene Untersuchungen, die im Rahmen von Forschungsaufträgen an Technischen Universitäten durchgeführt wurden [2] [3] [4], eröffnen die Möglichkeit, die während eines Brandes eingetretenen Temperaturen mit Hilfe rechnerischer Verfahren abschätzen zu können. Dabei wird allerdings vorausgesetzt, daß Art und Menge der vorhandenen und während des Brandes wirksam gewordenen Brandlast mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden können. Dies

RB Dir. Dipl.-Ing. Herbert Blauß,  
Württ. Gebäudebrandversicherungs-  
anstalt, Stuttgart



Bild 1. Stahlbetonsturz und Stahlbetondecke, beide thermisch beschädigt

ist erfahrungsgemäß sehr schwierig und auch die Abschätzung der sonstigen, den Brandverlauf beeinflussenden Faktoren, wie Ventilation und die Auswirkung der Löschmaßnahmen auf den Temperaturverlauf im Baukörper während des Brandes, ist mit erheblichen Unsicherheitsfaktoren verbunden. Der Anwendung nach einem konkreten Brandfall sind daher relativ enge Grenzen gesetzt.

#### b. Experimentelle Verfahren

Vom Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung (IfS), Kiel, wurden thermoanalytische Untersuchungen durchgeführt [5] die zeigten, daß über den gesamten Temperaturbereich von Normaltemperatur bis 700 °C im Zementstein Zersetzungsreaktionen stattfinden, die sich meßtechnisch über den Gewichtsverlust oder den erhöhten Energiebedarf beim Aufheizen nachweisen lassen.

Diese Reaktionen sind (bedingt) irreversibel, so daß sie bei einem zweiten Meßlauf nicht mehr auftreten. Die Messung einer Betonprobe, die z.B. durch ein Schadenfeuer bis 400° C aufgeheizt worden war, zeigt bei einer späteren Messung bis zu 400 °C keine Reaktionen. Erst ab 400 °C ist wieder eine weitere Gewichtsabnahme und ein erhöhter Energieverbrauch festzustellen.

Durch Messen und graphische Aufzeichnung der entsprechenden Werte kann mit hinreichender Genauigkeit die Temperatur angegeben werden, der die Bohrmehlprobe ausgesetzt war. Die maßgebende Brandtemperatur liegt in dem Kurvenverlauf an der Stelle, wo die Kurve für den ersten Lauf und den zweiten Lauf nicht mehr parallel liegen.

#### Probenahme

Für diese Untersuchungen genügen Bohrmehlproben in der Größenordnung von 3 bis 5 mg. Derartige Proben können

mit der vom IfS entwickelten Vorrichtung zur Entnahme von Bohrmehlproben jeweils in 5 mm gestaffelten Tiefenstufen in beliebiger Anzahl und an allen Stellen einer Stahlbeton- bzw. Spannbetonkonstruktion entnommen werden. Es handelt sich dabei um das gleiche Gerät, wie es auch seit langer Zeit für die Entnahme von Bohrmehlproben zur Prüfung der Chloridbeaufschlagung des Betons verwendet wird.

Das Besondere dieser Vorrichtung ist, daß die Tiefenstufen exakt einstellbar sind und in jeder Bohrmehlprobe nur Bohrmehl aus der gewünschten Tiefe enthalten ist und unmittelbar in gesonderten Gläschen gesammelt wird.

#### Rückschlüsse auf die Betonstahltemperatur

Die Genauigkeit der Temperaturangabe aufgrund experimenteller thermoanaly-

tischer Untersuchungen liegt in der Größenordnung von ± 50 °C. Diese Toleranz ist dadurch bedingt, daß innerhalb der entnommenen Bohrmehlprobe von 5 mm Tiefe das Bohrmehl vermengt wird und das Ergebnis einen Mittelwert der Bohrmehlprobe ergibt. Der Bohrmehlanteil aus der dem Feuer zugekehrten Seite der Bohrmehlprobe ist mit großer Wahrscheinlichkeit einer höheren Temperaturbelastung ausgesetzt gewesen als der dem Feuer abgekehrte Anteil. Die Genauigkeit des Mittelwertes ist aber ausreichend. Eine höhere Genauigkeit ließe sich nur dann erzielen, wenn die Tiefenstufen enger gewählt werden könnten. Dies ist aus praktischen Gründen, die auf Seiten der Probenahme liegen, nicht möglich, weil eine gewisse Mindestbohrmehlmenge für die Untersuchung notwendig ist.

Durch Auftragen der in den jeweiligen Tiefenstufen ermittelten Ergebnisse ergibt sich der Temperaturverlauf innerhalb der untersuchten Probestelle.

Mit ausreichender Genauigkeit ist anzunehmen, daß die Temperaturbelastung von Stahl und Beton in jeweils gleicher Tiefenstufe dieselbe gewesen ist. Wenn nun die Tiefenlage der Stahleinlagen bekannt ist, wobei man sich erfahrungsgemäß nicht auf die nach DIN 1045 bzw. DIN 4102 vorgeschriebene Betondeckung verlassen sollte, sondern die im Bauteil tatsächlich vorhandene Betondeckung feststellen muß, läßt sich die während des Brandes vorhandene Stahlnachtemperatur ablesen. Liegt diese unter der kritischen Temperatur (vgl. DIN 4102 Blatt 4 Ziff. 3.1.2.2 – Tabelle 1), wurde die Zugfestigkeit der betreffenden Stahleinlagen durch den Brand nicht nachhaltig beeinflusst. Liegt die Stahlnachtemperatur über der kritischen Grenze, so kann bei der Reparatur die Zugfestigkeit der vorhandenen Stahleinlagen in aller Regel noch mind. mit dem für Betonstahl I zulässigen Wert angenommen werden. Eine Überprüfung der statischen Berechnung kann dann ggf. dazu führen, daß im Rah-

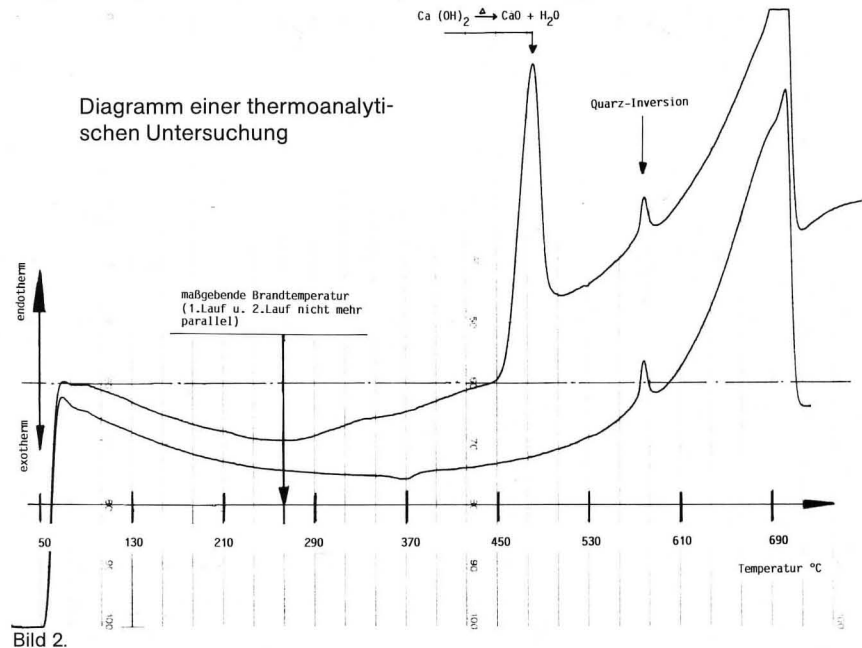


Bild 2.



Bild 3a

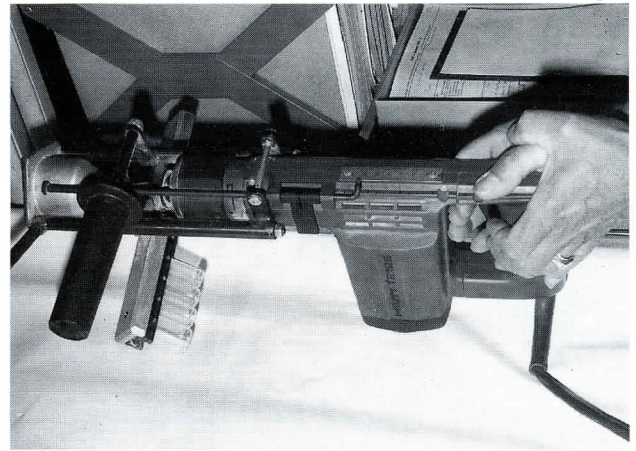


Bild 3b

men der Reparatur zusätzliche Stahleinlagen notwendig werden.

Liegen die sich aus der thermoanalytischen Untersuchung ergebenden Temperaturbelastungen im Bereich der für die eingebauten Stähle kritischen Temperatur, empfiehlt es sich, die noch vorhandene Stahlzugfestigkeit durch Entnahme einer oder mehrerer Stahlproben und Durchführung von Zugversuchen zu ermitteln, um die mit Hilfe der Thermoanalyse festgestellten Werte abzuschern.

### Zusammenfassung

Verhältnismäßig oft werden Stahlbeton- und Spannbetonbauteile während eines Brandes thermisch so stark aufgeheizt, daß möglicherweise die für die Zugfestigkeit und die Streckgrenze maßgebenden

Temperaturen überschritten worden sind. Bei kalt vergüteten Stählen vermindert sich bei übermäßiger Erwärmung die Zugfestigkeit und die Streckgrenze dahingehend, daß auch ohne erkennbare plastische Verformung des Baukörpers diese Stähle nur noch die Festigkeit des normalen Betonstahles haben. Um feststellen zu können, ob nach einer durchzuführenden Reparatur das Tragwerk noch die gleichen Belastungen aufnehmen kann wie vor dem Brand, bzw. in welchem Umfang Verstärkungen durch zusätzliche Stahleinlagen und Spritzbeton notwendig werden, ist es erforderlich, an allen kritischen Stellen die während des Brandes erreichte Stahltemperatur zu ermitteln. Dies ist mit Hilfe thermoanalytischer Untersuchungen möglich. Für die Durchführung solcher Untersuchungen

müssen an dem Brandobjekt in verschiedenen Tiefenstufen von jeweils 5 mm, ausgehend von der dem Brand ausgesetzten Betonoberfläche bis auf die Höhe der Stahleinlagen, Betonproben entnommen werden. Für die Untersuchung genügen Bohrmehlproben von 1 bis 2 cm<sup>3</sup>. Die Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse ist entscheidend von der Exaktheit der Entnahmetiefe der Bohrmehlproben abhängig. Es empfiehlt sich daher, derartige Proben mit einem Bohrmehlsammler zu entnehmen, bei dem die Bohrtiefen genau einstellbar sind.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß, wenn keine plastischen Verformungen eingetreten sind, beschädigte Betonbauteile repariert werden können und daß die zulässige Belastungsfähigkeit der vorhandenen Stahleinlagen durch zerstörungsfreie Untersuchungen mit Hilfe thermoanalytischer Verfahren festgestellt werden kann. Der Abbruch thermisch belasteter Stahlbetonbauteile, die keine plastische Verformung aufweisen, ist in der Regel nicht erforderlich.

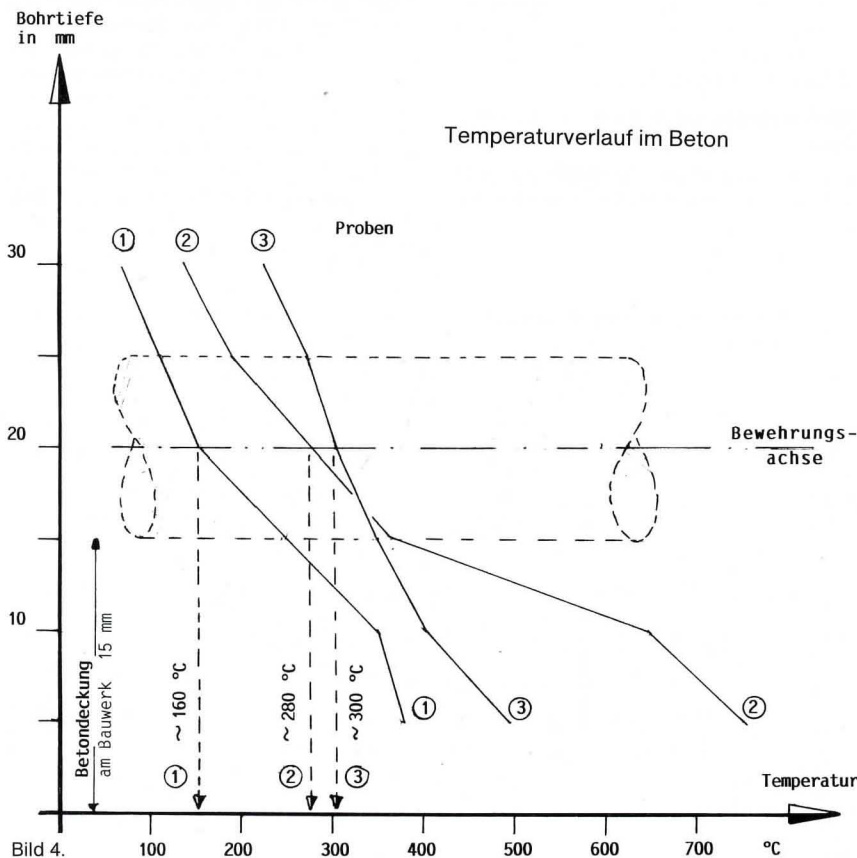


Bild 4.

### Literaturverzeichnis:

- [1] E. Klement: Das Brandverhalten von Rohbaukonstruktionen bei Baustellenbränden. „schadenprisma“ Heft 3/1979
- [2] Haksever A., Krampf L.: Möglichkeiten einer nachträglichen Beurteilung der in einem Betonbauteil während eines Schadenfeuers aufgetretenen Reparaturen. Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft, Bestell-Nr. T 897
- [3] Haksever A.: Stahlbetonstützen mit Rechteckquerschnitten bei natürlichen Bränden. Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft, Bestell-Nr. T 895.
- [4] Hafner H.; Teichen, K-T: Untersuchung über die Wirkung von Blenden auf die Feuerwiderstandsdauer von Stahlträgern. Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft, Bestell-Nr. T. 896.
- [5] Helmut Bernhard: Die Anwendung thermoanalytischer Methoden zur Ermittlung der Festigkeit von Stahlbeton und Spannbetonbauteilen nach einer Brandbelastung. „schadenprisma“ Heft 3/1979.

Bildnachweis:

Bild 1:  
Dr.-Ing. Berner, Karlsruhe  
Bilder 2 und 4:  
Institut für Schadenverhütung und  
Schadenforschung (IFS), Kiel